Применение ИС цифровых изоляторов ADUM7441 и ADUM3473 для гальванической развязки интерфейса RS-232

Алексей Кузьминов (Москва)

В статье приведены принципиальные схемы, рисунки печатных плат и фотографии готовых устройств гальванически изолированного интерфейса RS232 на основе новых ИС цифровых изоляторов ADUM7441 и ADUM3473. Даны рекомендации по самостоятельному изготовлению тороидальных трансформаторов и дросселей, использующихся в DC/DC-преобразователях гальванической развязки, а также фотошаблонов для макетных плат.

Микросхемы цифровых изоляторов ADUM744X, впервые выпущенные в планарных корпусах QSOP16 (размер 5 × 6 мм, шаг выводов 0,635 мм), по своим скоростным и изоляционным свойствам не отличаются от стандартных микросхем ADUM120X, давно использующихся в гальванических развязках различных интерфейсов, в том числе и RS-232. В настоящее время стали выпускаться и преобразователи интерфейса RS-232 в корпусах аналогичного размера (5 × 6 мм) с шагом выводов 0,65 мм (например, ADM3202ARUZ, корпус TSSOP16) и ещё более миниатюрные – TRS3243ECRHBR (корпус QFN32 размером 5 × 5 мм с шагом выводов 0,5 мм). Малый размер таких корпусов позволяет экономить место на плате, а стоимость размещённых в них микросхем значительно ниже, чем в корпусах SOIC и DIP.

Однако разработчики неохотно идут на применение микросхем в подобных корпусах, прежде всего потому, что на макетной плате такой корпус установить трудно – необходимо изготавливать печатную плату с достаточно высоким разрешением и распаивать ИС в автоматизированном режиме.

Определённой проблемой является реализация изолированных DC/DC-преобразователей напряжения питания – необходимых элементов гальванической развязки. Недорогие преобразователи с нерегулируемым выходом создают много помех, преобразователи со стабилизированным выходом имеют высокую стоимость, а использование трансформаторных драйверов (например, MAX253 или встроенного в микросхему ADUM3473) для DC/DC-преобразователей собственной разработки наталкивается на трудности приобретения или изготовления импульсных трансформаторов.

Применение микросхем цифровых изоляторов ADUM7441 в гальванически изолированном интерфейсе RS-232 позволяет конструировать уникальные по своей простоте схемы, поскольку в микросхеме ADUM7441 присутствуют сразу три приёмника и один передатчик.

В схеме, показанной на рисунке 1, в качестве преобразователя интерфейса RS-232 использована микросхема TRS3243, оснащённая редко встречающимся неинвертирующим приёмником (выводы 2 и 19, DD1), который позволяет напрямую управлять выводом RST внешнего микроконтроллера сигналом DTR интерфейса RS-232. Второй сигнал интерфейса RTS в этой схеме управляет включением/выключением питания (Vdd) микроконтроллера. Таким образом, с помощью двух сигналов интерфейса RS-232 (DTR и RTS) можно управлять работой микроконтроллера либо в штатном режиме, либо в режиме внутрисистемного программирования (in-system-programming, ISP).

Линии данных TxD и RxD интерфейса RS-232 сопрягаются с линиями данных микроконтроллера RxD (сигнал RxDM) и TxD (сигнал TxDM) стандартным образом [1, 4] с помощью инвертирующих приёмников микросхемы TRS3243, что упрощает схему. В качестве изолированного DC/DC-преобразователя (+5 В → 5 В iso) использован прибор C10205BA (DA1, см. рис. 1). Вместо него может быть использована микросхема DCR010505P, включенная по схеме рис. 2. На рисунке 3 приведён пример схемы подключения микроконтроллера с активным низким уровнем сигнала RST (P89LPC982, DD1) к выходу гальванической развязке на базе ИС TRS3243.

В схеме, показанной на рисунке 4, в качестве преобразователя интерфейса RS-232 использована микросхема ADM3202. Поскольку у этого преобразователя только два приёмника (инвертирующих), недостающий неинвертирующий приёмник выполнен на основе резистора (R1) и защитного стабилитрона UCLAMP3301D (VD1) с напряжением стабилизации 3,3 В (или обычного стабилитрона BZT52C4V7 на 4,7 В).

Работу неинвертирующего приёмника на основе резистора и стабилитрона иллюстрируют осциллограммы, приведённые на рисунке 5а. Входной сигнал RS-232 DTR (нижняя осциллограмма жёлтого цвета), имеющий уровни напряжения ±9,6 В и, соответственно, полный размах 19,2 В (на осциллограмме «Vamp(1) = 19,2 V»), подаётся на резистор R1. Когда сигнал RS-232 имеет высокий уровень (+9,6 В), стабилитрон UCLAMP3301D ограничивает его на уровне 3,3 В (верхняя осциллограмма рис. 5а голубого цвета «Vtop(2) = 3,35 V»). Когда сигнал RS-232 имеет низкий уровень (–9,6 В), стабилитрон работает как диод с прямым падением напряжения около 0,6 В (на осциллограмме это состояние выходного сигнала отмечено «Vbas(2) = –678 mV»). Таким образом, сигнал DTRa, снимаемый с катода стабилитрона, практически имеет уровни ТТЛ.

Далее сигнал DTRa подаётся на вход цифрового изолятора ADUM7441 (см. рис. 4). На осциллограмме рис. 5б это верхний график жёлтого цвета. Пройдя через гальваническую развязку, сигнал DTRa появляется на выводе 13 DD2 уже как сигнал RST, который подаётся на соответствующий вывод микроконтроллера (см. рис. 3); на осциллограмме рис. 5б это голубой

Рис. 1. Схема гальванической развязки интерфейса RS232 на базе преобразователя TRS3243ECRHBR, цифрового изолятора ADUM7441 и DC/DC-преобразователя C10205BA

Рис. 2. Схема применения ИС DCR010505P в преобразователе напряжения

Рис. 3. Пример схемы подключения микроконтроллера с активным низким уровнем сигнала RST к выходу гальванической развязки на базе ИС TRS3243

график «Vamp(2) = 4.94 V». Необходимо отметить, что микросхема ADUM7441 оборудована схемой защиты входа от положительных и отрицательных перенапряжений. Эта схема отсекает небольшое отрицательное напряжение (–0,6 В), которое является следствием работы стабилитрона в режиме обычного диода, и не влияет на работу развязки. Таким образом, сигнал RST имеет уровни напряжения, находящиеся в диапазоне работы ТТЛ (0 В и +5 В). Если на вход гальванической развязки подать «чистый» ТТЛ-сигнал, снятый с приёмника преобразователя RS-232, то на выходе гальванической развязки появится сигнал, аналогичный нижней осциллограмме голубого цвета (см. рис. 5б).

В верхнем правом углу рисунка 5 отображена частота сигналов 57,6 кГц («57.5877 kHz»), которая соответствует максимальной скорости работы интерфейса RS-232 (115 200 бод).

Разводка печатных плат гальванических развязок для схем, приведённых на рисунке 1 (см. рис. 6а) и рисунке 4 (см. рис. 6б), и схемы включения DC/DC-преобразователя по схеме

Рис. 4. Схема гальванической развязки на базе преобразователя ADM3202ARUZ, защитного стабилитрона UCLAMP3301D (или BZT52C4V7) и цифрового изолятора ADUM7441

рис. 2 (см. рис. 6в) сделаны с помощью программы Sprint LayOut 5. Сами платы (см. рис. 7) изготовлены с помощью метода, достаточно подробно описанного в [2, 3].

Вторая группа проблем, с которой столкнулся автор, связана с изготовлением DC/DC-преобразователя, как автономного (например, на основе трансформаторного драйвера MAX253), так и встроенного в микросхему гальванической развязки ADUM3473.

Следует отметить, что существуют и другие ИС, имеющие встроенный 5-В преобразователь, например, ADUM524X и ADUM54XX. Однако в процессе работы первая ИС очень сильно нагревается (до 50°С), даже без нагрузки, что затрудняет конструктивное исполнение малогабаритных устройств на её основе. Микросхема ADUM54XX выпускается в достаточно габаритном корпусе WSOIC16 и стоит существенно дороже. В итоге от использования микросхем ADUM54XX и ADUM524X пришлось отказаться.

Моточные изделия

Главной проблемой отечественных разработчиков DC/DC-преобразователей является изготовление высокочастотного импульсного трансформатора, поскольку номенклатура готовых моточных изделий такого типа почти не представлена на российском рынке. Тип магнитопровода, как правило, ферритового кольца, определяется частотой работы трансформатора, которая приведена в описании трансформаторного драйвера. Например, для микросхемы MAX253 частота работы составляет 350...500 кГц, а для драйвера микросхемы ADUM3473 она вдвое выше (500...1000 кГц).

При работе ВЧ-трансформатора обязательно возникают потери на перемагничивание (гистерезис), потери в контурных токах и т.п. Феррит характеризуется максимальной граничной частотой работы, при которой потери не превышают 10% (tgδ < < 0,1). Например, для отечественных ферритов марки 2000НМ эта граничная частота составляет 0,45 МГц, 1500НМ – 0,6 МГц, 1000НМ – 1,0 МГц. Отсюда следует, что для трансформатора преобразователя на ИС MAX253 (0,35...0,5 МГц) оптимальной маркой феррита является 2000НМ, а для ADUM3473 (0,5...1,0 МГц) – 1500НМ и 1000НМ.

Можно приобрести импортные ферриты, потери в которых несколько меньше, например, феррит марки N87 немецкой фирмы EPCOS (приблизительно соответствует 2200НМ). Кроме того, кольца из феррита N87 EPCOS имеют скруглённые кромки и специальное диэлектрическое покрытие, которое выдержи-

Рис. 5. Осциллограммы работы преобразователя RS232 → TTL

(а) На базе защитного стабилитрона UCLAMP3301D, (б) входные и выходные сигналы цифрового изолятора ADUM7441

вает достаточно высокую температуру.

Если исходить из мощности трансформатора, то при достаточно малом токе (потребление тока преобразователями RS-232 и гальваническими развязками в сумме не превышает 20 мА) размеры кольца могут быть минимальными. Например, для работы ИС MAX253 рекомендуется использовать ферритовый сердечник тороидальной формы Philips 213CT050-3B7 с внешним диаметром d = 4,8 мм и высотой h = 1,27 мм. Трансформатор, изготовленный на таком сердечнике, должен содержать две первичные обмотки по 22 витка с общей индуктивностью 832 мкГн. Коэффициент трансформации составляет примерно 1,3, т.е. две вторичные обмотки должны содержать по 28 витков.

Вручную намотать такое количество витков провода на кольцо диаметром менее 5 мм и высотой менее 1,5 мм, да ещё оставить зазор между обмотками практически невозможно. На кольцах же диаметром более 6 мм трансформатор можно намотать без особых проблем. Стоимость отечественных ферритовых колец и колец EPCOS N87 (например, R6,3 × 3,8 × × 2,5 мм) диаметром до 7 мм не превышает 5 руб. за штуку. Необходимо также отметить, что в настоящее время фирма EPCOS выпустила новый материал N95, имеющий ещё меньшие потери, чем N87.

Число витков двух первичных обмоток определяется индуктивностью, которая указана в описании микросхемы преобразователя. Например, для MAX253 рекомендуется индуктивность каждой из двух первичных обмоток 200 мкГн, для ADUM3473 – в два раза меньше (за счёт удвоенной частоты). Поскольку индуктивность пропорциональна квадрату числа витков, то индуктивность двух обмоток по 200 мкГн, соединённых последовательно, составляет 800 мкГн.

Чтобы определить число витков первичной обмотки, следует намотать на имеющееся кольцо пробную обмотку – 10–30 витков провода диаметром 0,15 мм марки ПЭЛ – и измерить её индуктивность. Например, для кольца 2000НМ R4 × 2,5 × 1,2 мм 20 витков соответствуют индуктивности 78 мкГн, 30 витков – 140 мкГн; для кольца 1500НМ R5 × 3 × 1,5 мм 15 витков соответствуют 55 мкГн, 20 витков – 93 мкГн, 30 витков – 220 мкГн. Для кольца EPCOS N87 R6,3 × 3,8 × 2,5 мм 10 витков соответствуют индуктивности 88 мкГн, 15 витков – 200 мкГн, 32 витка – 890 мкГн. Рекомендуемый коэффициент трансформации для преобразователя на ИС MAX253 составляет 1,5...2, поэтому количество витков каждой из двух вторичных обмоток должно быть в диапазоне 23–30 при 15 витках провода в каждой первичной обмотке.

Для обеспечения необходимой изоляции, обмотки должны располагаться на кольце так, чтобы расстояние между крайними концами первичной и вторичной обмоток (их внутренних частей) превышало 2...2,5 мм. Желательно, чтобы провод был намотан «виток к витку», а не «в навал», т.е. на внутренней части кольца каждый виток должен касаться соседнего без зазора. При расположении обмоток в два слоя с каждой стороны, диаметре провода 0,15 мм и количестве витков во вторичных обмотках 25 (коэффициент трансформации 25/15 ≈ 1,7) удаётся оставить зазор 2,5 мм между обмотками на внутренней поверхности

Рис. 6. Варианты разводки печатных плат для схем, приведённых на рис. 1а, 4б и 2в

Рис. 7. Фотографии готовых устройств на печатных платах

(а) Плата по схеме рис. 1 без установленных разъёмов и DC/DC-преобразователя, (б) та же плата с разъёмами и установленным преобразоватлем на микросхеме DCR010505P (см. рис. 2), (в) готовая плата по схеме рис. 4 без преобразователя, (г) та же плата с установленным преобразователем C10205BA

Рис. 8. Схема DC/DC-преобразователя на базе микросхемы трансформаторного драйвера MAX253CUA

Рис. 9. Схема гальванической развязки интерфейса RS232 на базе цифрового изолятора ADUM3473 и преобразователя ADM3202

кольца. Наматывать обмотки следует двойным проводом, а затем соединить конец первой обмотки с началом второй – это и будет средняя точка. Учитывая рекомендуемую индуктивность 60...100 мкГн для ИС ADUM3473, можно определить, что каждая первичная обмотка должна иметь по 10 витков (88 мкГн). Рекомендуемый коэффициент трансформации для ADUM3473 составляет 2, поэтому в каждой вторичной обмотке должно быть по 20 витков.

Сглаживающий дроссель лучше намотать на ферритовом кольце. Рекомендуемая минимальная индуктивность такого дросселя для преобразователя на ИС MAX253 составляет 22 мкГн с активным сопротивлением не более 1 Ом, для ADUM3473 – 47 мкГн (1 Ом). Для изготовления дросселя подойдут отечественные ферритовые кольца марок 1500НМ или 2000НМ самых маленьких диаметров (4 и 5 мм). Поскольку у таких колец довольно острые кромки и они не имеют изолирующего покрытия, перед намоткой провода необходимо сгладить кромки наждачной бумагой.

Можно использовать провод типа ПЭЛШО (ПЭЛО), который имеет прочную, двойную изоляцию. Недостатком такого провода является диаметр внешней оплётки 0,3 мм при диаметре жилы 0,1 м, поэтому на маленькое кольцо помещается небольшое количество витков провода. Если же кольцо со сточенными кромками предварительно обмотать нарезанными вдоль

полосками ленты ФУМ (фторопласт 0,2 мм), то обмотки можно выполнить проводом ПЭЛ. Для разнообразия дроссель для DC/DC-преобразователя на MAX253 был сделан первым способом, а дроссель для ADUM3473 – вторым.

В схеме, показанной на рисунке 8, применён стабилизатор +5 В на ИС TPS76950 (DA2) с малым падением напряжения (35 мВ при токе 50 мА). Входное напряжение стабилизатора составляет приблизительно 7,5 В без нагрузки и падает до 5 В при токе нагрузки в 100 мА. Размах ВЧ-пульсаций выходного напряжения составляет около 7 мВ при токе нагрузки 100 мА и 5 мВ при токе нагрузки в 50 мА. Трансформатор TR1 намотан на ферритовом кольце EPCOS N87 R6,3 × 3,8 × × 2.5 мм. Две первичные обмотки содержат по 15 витков провода ПЭЛ 0,15 и намотаны в два слоя. Две вторичные обмотки содержат по 25 витков того же провода в два слоя. Дроссель L1 намотан на ферритовом кольце 2000НМ R5 × 3 ×1,5 мм, содержит 63 витка провода ПЭЛШО 0,1, имеет индуктивность около 1,2 мГн и активное сопротивление 1 Ом. Намотка произведена в два слоя (точнее, на внешней поверхности кольца витки расположены в один слой до полного заполнения (виток к витку), а на внутренней поверхности – в два слоя). Номиналы и размеры конденсаторов и резистора для поверхностного монтажа указаны на схеме. Резистор R1 обеспечивает минимальную нагрузку преобразователя.

В схеме, приведённой на рисунке 9, резисторы R1 и R2 определяют выходное стабилизированное напряжение DC/DC-преобразователя, равное +5 В, R3 – частоту его работы (700 кГц), R4 – необходимую минимальную нагрузку. Трансформатор TR1 намотан на ферритовом кольце EPCOS N87 R6,3 × 3,8 × × 2,5 мм. Две первичные обмотки содержат по 10 витков провода ПЭЛ 0,15 и намотаны в один слой. Две вторичные обмотки содержат по 20 витков того же провода в один слой. Дроссель L1 намотан на ферритовом кольце 1500НМ R5 × 3 × 1,5 мм, предварительно обмотанном двойным слоем ленты ФУМ, содержит 70 витков провода ПЭЛ 0,15, имеет индуктивность около 1,2 мГн и активное сопротивление 0,4 Ом. Номиналы и размеры конденсаторов и резисторов для поверхностного монтажа указаны на схеме. Выходное напряжение DC/DC-преобразователя (+5 В iso) стабильно вплоть до максимального тока нагрузки в 100 мА (в отсутствие преобразователя ADM3202). Размах высокочастотных пульсаций составляет менее 1 мВ при токе нагрузки 100 мА. При уменьшении тока нагрузки до 50 мА размах пульсаций снижается, и оценить его с помощью осциллографа автору не удалось.

Печатные платы

Как упоминалось выше, разводка печатных плат DC/DC-преобразователя на ИС MAX 253 (см. рис. 10а) и гальванической развязки на ADUM3473 (см. рис. 10б) сделана автором с помощью программы SprintLayOut 5.

Фотошаблоны плат (для MAX253 и ADUM3473) напечатаны лазерным принтером (HP-3015) на матовой плёнке GRM A4, предназначенной для печати негативов. В отличие от кальки, матовая плёнка имеет более ровную и однородную поверхность, поэтому негатив получается более качественным для дорожек шириной более 0,2 мм (плата с ИС MAX253 разведена так, что ширина дорожек составляет 0,4 мм, а самые узкие дорожки на плате с ADUM3473 имеют ширину 0,3 мм). Плотность негатива, напечатанного на матовой плёнке, несколько выше, чем на фотоплёнке при использовании метода фоторепродуцирования, что позволяет сде-

Рис. 10. Варианты разводки печатных плат
(а) DC/DC-преобразователя по схеме рис. 8, (б) гальванической развязки по схеме рис. 9

Рис. 11. Фотографии готовых устройств на печатных платах

(а) Плата гальванической развязки по схеме рис. 1 без установки DC/DC-преобразователя (левая плата) и обратная сторона платы DC/DC-преобразователя по схеме рис. 8 (правая плата), (б) та же плата с установленным преобразователем, (в) плата гальванической развязки на базе ADUM3473 по схеме рис. 9 без трансформатора, дросселя и разъёмов, (г) та же плата в собранном виде

лать более качественную засветку фоторезиста. Негатив может быть напечатан лазерным принтером и на универсальной прозрачной плёнке LOMOND 0710421. В обоих случаях для печати желательно использовать новый картридж.

При печати негатива непосредственно из программы SprintLayOut качество печати в местах изломов линий недостаточно высокое. Для получения качественного негатива автор рекомендует следующую процедуру. Из программы SprintLayOut негатив «распечатывается» в файл *.pdf, при этом разрешение монохромного принтера устанавливается максимальным, т.е. 4000 dpi. Затем файл *.pdf распечатывается на лазерном принтере с максимальным разрешением (1200 dpi). В настройках принтера необходимо выбрать максимальную плотность тонера, наилучшее качество отпечатка, а также самую плотную бумагу.

Хотя максимальное разрешение современных лазерных принтеров не превышает 1200 dpi, за счёт ретуширования, предусмотренного в программном обеспечении принтера, линии получаются плавными.

Фотошаблон может быть также распечатан и на струйном принтере. Максимальное разрешение современных струйных принтеров составляет 2400 dpi. Автор экспериментировал с принтером Canon Pixma MG5140, имеющим максимальное разрешение 9600 × 2400 dpi. При использовании прозрачной плёнки LOMOND 0708411, предназначенной для струйной печати, качество негатива заметно выше, чем у лазерного принтера, однако несколько хуже, чем у фотоплёнки при использовании метода фоторепродуцирования. Недостаточное разрешение принтера приводит к тому, что наклонные линии имеют ступенчатую форму, а вертикальные линии – размытые границы.

Помимо плёнки LOMOND 0708411, автор экспериментировал с двумя другими плёнками: Full Mark TPICL20 и Avery Zweckform Z2503. Плёнка TPICL20 показала результат, аналогичный результату плёнки LOMOND 0708411, а вот плёнка Z2503 приятно удивила полным отсутствием дефектов в виде прозрачных точек. Хотя эта плёнка в 3,5 раза дороже плёнки LOMOND, она предпочтительнее для печати негатива на струйном принтере.

Сами печатные платы (см. рис. 11) изготовлены с помощью метода, описанного в [2, 3]. Трансформатор DC/DC-преобразователя на ИС MAX253 приклеен к поверхности платы со стороны расположения компонентов двухсторонней липкой лентой (см. рис. 11б), а дроссель – к обратной стороне платы (см. рис. 11а). Трансформатор гальванической развязки на базе микросхемы ADUM3473 приклеен к её поверхности липкой лентой, а дроссель – на поверхность микросхемы ADM3202 (см. рис. 11г).

При сравнении готовых устройств гальванических развязок на рис. 11б и 11г можно заметить, что устройство на базе ADUM3473 выглядит более «изящно», чем гальваническая развязка на базе ADUM7441 с установленным DC/DC-преобразователем. К сожалению, микросхема ADUM3473 пока труднодоступна и обходится существенно дороже.

Необходимо отметить, что существует способ, позволяющий выполнить гальваническую развязку вообще без DC/DC-преобразователя, если использовать линии питания 5 В любого из свободных разъёмов USB управляющего компьютера. Для этого необходимо вывести провод из разъёма RS-232, снабдить этот провод ответным разъёмом USB и подключить к разъёму компьютера. Дополнительный провод с питанием +5 В можно включить в тот же кабель, по которому передаются сигналы RS-232. Этим методом автор пользовался неоднократно.

Заключение

Гальванические развязки, сконструированные на микросхемах в корпусах для поверхностного монтажа с малым расстоянием между выводами, позволяют значительно экономить место на плате и создавать малогабаритные и недорогие конструкции. Самостоятельное изготовление импульсных трансформаторов и дросселей на ферритовых кольцах под силу любому разработчику. Результатом является высокая стабильность выходного напряжения преобразователя гальванической развязки, низкий уровень помех и пульсаций.

Литература

1. *Кузьминов А.* Современные аппаратные средства связи микроконтроллера с компьютером по интерфейсу RS-232. Компоненты и технологии. 2006. № 3–5.
2. *Кузьминов А.* Метод фоторепродуцирования для изготовления фотошаблона печатных плат в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. 2010. № 5–7.
3. *Кузьминов А.* Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях. Технологи в электронной промышленности. 2010. № 8–10.
4. www.microcompsys.narod.ru.